

GLACIERS ROCHEUX ET LIMITE INFÉRIEURE DU PERGELISOL DISCONTINU DANS LE VALLON DE TORTIN (NENDAZ-VALAIS)

par Emmanuel Reynard¹

ZUSAMMENFASSUNG

Blockgletscher und Erfassung der Verbreitung diskontinuierlichen Permafrosts im Tortin-Gebiet (Nendaz, VS)

Zwischen 1994 und 1996 wurden die Blockgletscher im Tortin-Gebiet kartiert und analysiert. Um deren Aktivität zu beurteilen und die Permafrostverbreitung im Gebiet zu erfassen, wurden als indirekte Nachweismethoden Temperaturmessungen an der Basis der Schneedecke (BTS-Messungen) und in an der Blockgletscherstirn austretenden Quellen durchgeführt.

INTRODUCTION

L'objectif de cette note est de décrire et caractériser différents glaciers rocheux du Vallon de Tortin et d'en déduire la limite inférieure de répartition du pergélisol discontinu dans la région. Les relevés de terrain et les mesures de température de sources ont été effectués durant les étés 1995 et 1996. Les mesures de température du sol sous la neige se sont déroulées durant les hivers 1994-1995 et 1995-1996.

La région d'étude

La région prise en considération est le vallon de Tortin, à l'amont de l'alpage du même nom. Il s'agit d'un vallon glaciaire s'étendant entre 3328 m (Mont-Fort) et 2040 m (Tortin). Tout au sud, se nichent deux glaciers : le Glacier de Tortin et le Glacier des Yettes Condja.

Hydrographiquement parlant, le vallon est divisé en deux systèmes séparés par le Grand Toit (moraine latérale ancienne du glacier de Tortin)

¹Université de Lausanne, Institut de Géographie, BFSH 2, CH-1015 Lausanne.

- à l'ouest coule le Torrent Bé, alimenté lui-même par le Torrent de la Tsa; cette zone, culminant à 2900 mètres (au sud de Chassoure) n'est plus du tout englacée;

- à l'est le Torrent ou Printse de Tortin est alimenté par les eaux glaciaires des glaciers de Tortin et des Yettes Condja et par les petits cours d'eau issus du vallon du Mont Gelé.

Les deux cours d'eau se jettent dans la Printse de Cleuson un peu à l'amont de Siviez.

Du point de vue géologique, le vallon de Tortin appartient au domaine pennique, plus précisément à la nappe du Mont Fort (ESCHER 1988). Le versant situé au nord du vallon des Lapires et drainé par le Torrent de la Tsa appartient à la série permo-triasique du Greppon Blanc (SCHAER 1960); il est constitué de micaschistes, de quartzites et de prasinites (PITTELOU & GERBER 1988). Le vallon des Lapires et celui des Yettes Condja appartiennent à la série permo-carbonifère du Métailler (SCHAER 1960), constituée principalement de greiss, avec des intercalations discontinues de schistes et de prasinites (PITTELOU & GERBER 1988).

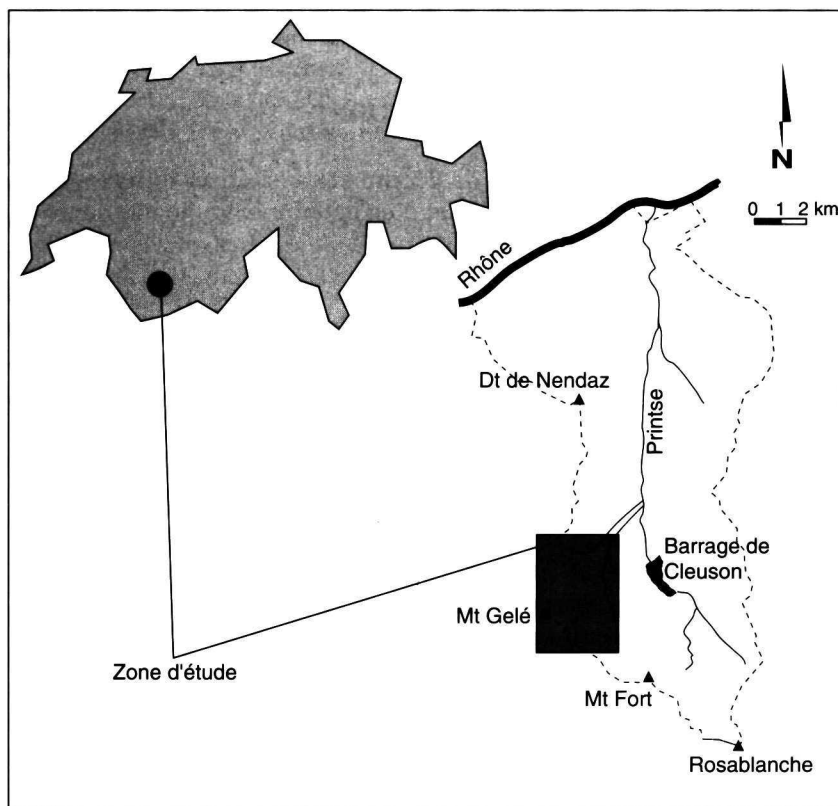


Figure 1. Situation de la zone d'étude.

Méthodes utilisées

La méthode de base est la cartographie géomorphologique à l'aide de la légende pour levés géomorphologiques de l'IGUL (SCHOENEICH 1993). Les glaciers rocheux repérés ont été caractérisés sur la base de critères définis par HAEBERLI (1985) et BARSCH (1988). Les mesures de pente ont été prises dans les endroits les plus pentus des fronts des glaciers rocheux à l'aide d'un clinomètre sur une perche d'une longueur de 3 mètres posée sur le sol. L'étude de la distribution du permafrost se base essentiellement sur l'utilisation de la méthode de mesures BTS (HAEBERLI 1973, HOELZLE 1994, GARDAZ et al. 1995) et sur des mesures de température de sources (HAEBERLI 1975).

PERGELISOLS ET GLACIERS ROCHEUX

Le pergélisol est défini comme un matériel de surface (sols, moraines, éboulis, glaciers rocheux, etc.) dont la température reste en dessous de 0°C pendant deux ans au moins (WASHBURN 1979). En fonction de son extension par rapport à la surface de la zone étudiée, on distingue entre pergélisol continu, discontinu et sporadique (HARRIS 1986, GUODONG & DRAMIS 1992). Dans les Alpes, on est principalement en présence d'un pergélisol discontinu, constitué de zones gelées disséminées de manière irrégulière. En dessus de 3000-3500 m, la répartition spatiale du pergélisol devient continue (KING & AKERMAN 1993). Dans une optique d'aménagement (construction de barrages, restaurants d'altitude, remontées mécaniques, paravalanches, etc.), il est important de connaître la répartition des zones à pergélisol afin de prendre les mesures adéquates pour éviter de coûteux travaux de correction (HAEBERLI 1992). De ce point de vue, le vallon de Tortin est un terrain d'étude particulièrement intéressant, puisqu'il touche aux domaines skiables de Verbier et Nendaz.

Les glaciers rocheux sont des masses de débris rocheux qui fluent (à l'image des glaciers) car les blocs qui les composent sont cimentés par de la glace (pergélisol) en profondeur. Cette glace se forme par gel des eaux d'infiltration (HAEBERLI 1985, BARSCH 1988). Les blocs sont issus d'anciennes moraines ou alimentés par des éboulis (BARSCH 1988). Selon leur position dans la vallée, on distingue des glaciers rocheux en forme de langue (dans le fond des vallées) et des glaciers rocheux de versant (BARSCH 1988). Une forme intermédiaire entre les éboulis et les glaciers rocheux est constituée par les protalus qui sont des bourrelets d'éboulis qui fluent légèrement.

Le déplacement des glaciers rocheux est nettement moins rapide que celui des glaciers (de l'ordre de 1-2 mètres par an au maximum). En fonction de leur activité, on distingue :

- des glaciers rocheux actifs (qui contiennent de la glace et fluent);
- des glaciers rocheux inactifs (qui contiennent encore un peu de glace, mais qui ne se déplacent plus);
- des glaciers rocheux fossiles (qui ne contiennent plus de glace). Il sont souvent parsemés de dépressions dues à la fonte de la glace interne. Les glaciers rocheux inactifs et fossiles sont généralement recouverts de végétation, contrairement aux glaciers rocheux actifs.

Les deux premiers types sont l'expression de la présence de pergélisol discontinu (le glacier rocheux contient du pergélisol alors que les zones environnantes peuvent en être dépourvues). Le repérage et la caractérisation des glaciers rocheux deviennent donc très intéressants pour apprécier la répartition du pergélisol discontinu dans la région.

Caractéristiques	Glaciers rocheux actifs	Glaciers rocheux inactifs	Glaciers rocheux fossiles
Relief général	Bombé front instable	Affaisé par endroits	Affaissé parsemé de dépressions
Pente du front	35-45°	Inférieure à 35°	Inférieure à 35°
Mouvement	Oui	Non	Non
Végétation	Aucune	Lichens	Oui
T° des sources au front	0 à 2°C	0 à 2°C	Plus de 2°C
T° par mesures B°TS	En général inf. à -3°C	Souvent inf. à -2°C	Supérieure à -2°C
Présence de permafrost	Probable	Possible/probable	Improbable

Tableau I. Caractéristiques des différents types de glaciers rocheux selon HAEERLI (1985) et BARSCH (1988), modifié d'après PHILLIPS (1993).

LES GLACIERS ROCHEUX DU VALLON DE TORTIN

Dix glaciers rocheux et un protalus sont visibles dans le vallon étudié (Fig. 2). Ils sont tous orientés à l'est, au nord-est ou au nord, suivant ainsi l'orientation générale de la vallée. Je les décris ici en précisant leurs caractéristiques morphologiques. Les numéros renvoient à la carte de la Figure 2. Le tableau II résume ces caractéristiques.

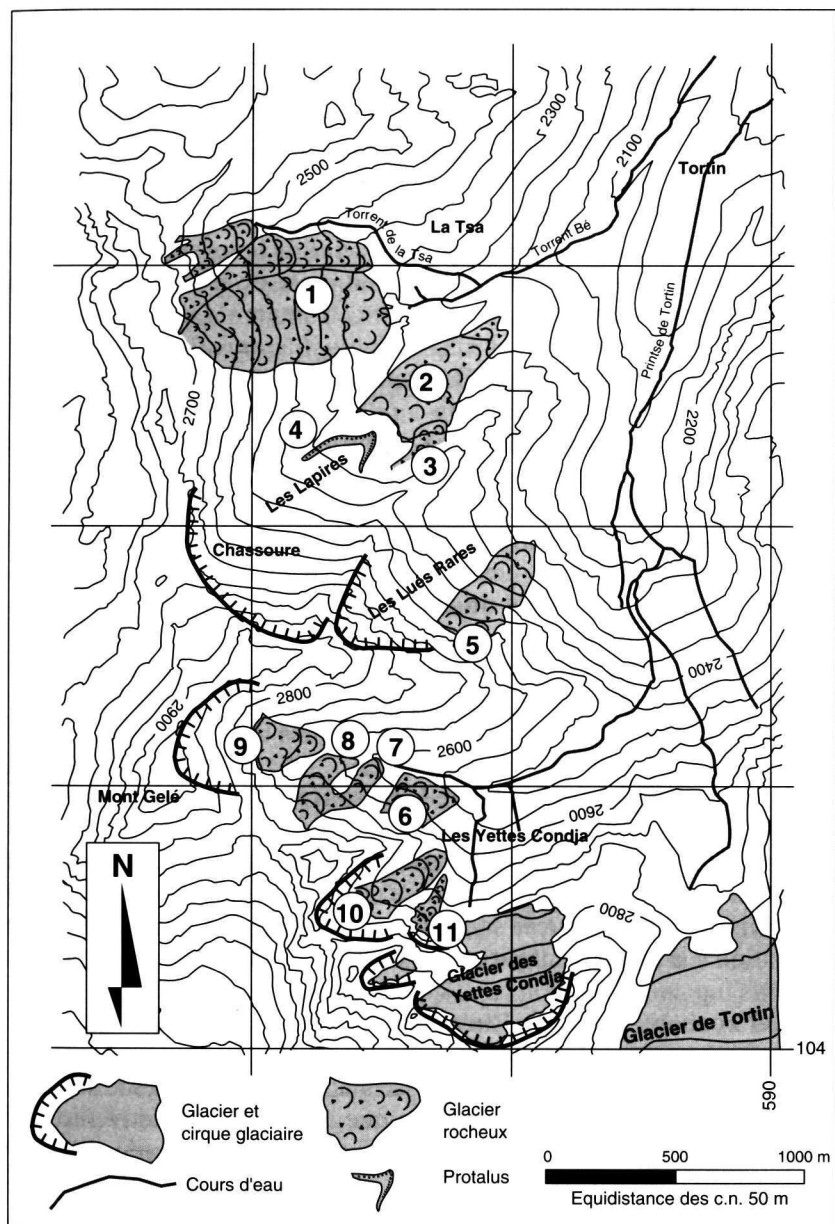


Figure 2. Situation des glaciers rocheux étudiés. Les nombres renvoient à la description dans le texte.

Glacier rocheux de la Tsa (1)

On devrait parler de plusieurs appareils, orientés globalement vers l'est. L'ensemble est en effet formé de plusieurs lobes peu épais, plus ou moins individualisés, issus très souvent de couloirs d'éboulis parallèles. Le front qui se termine à 2300 m est généralement peu pentu (34°) et présente une végétation fournie. Plusieurs sources aux débits faibles y sont visibles. Dans la partie amont, le glacier rocheux semble imbriqué dans un ensemble morainique. L'appareil présente les caractéristiques d'un glacier rocheux fossile.

Glacier rocheux du Plan des Ouchelets (2)

Il s'agit d'un appareil complexe, épais, constitué de plusieurs lobes orientés vers le nord-est, séparés par des marais et circonscrits par des moraines, attribuées au stade tardiglaciaire de Daun (WINISTÖRFER 1978, KÜTTEL 1979, MÜLLER et al. 1980, 1983).

Glacier rocheux de l'Arête du Darbenet (3)

Orienté au nord/nord-est, ce petit appareil, dont le front est situé à 2320 m, pourrait être actif. Il ne présente pas de sources au front et vient s'appuyer contre le glacier rocheux du Plan des Ouchelets.

Protalus des Lapires (Combe de Chassoure) (4)

Il s'agit d'un protalus peu lobé, orienté vers le nord-est, coupé en partie par la piste de ski de Chassoure et alimenté par un grand versant d'éboulis. Plusieurs sources sont situées au front qui est peu couvert de végétation. La forme pourrait contenir du pergélisol.

Glacier rocheux des Lués Rares (5)

Situé sur un versant à pente raide, ce glacier rocheux orienté au nord-est, formé de blocs de taille décamétrique au front, est recouvert d'une végétation éparse. Le front est pentu (moyenne 45°) et se termine à 2300 m. La valeur élevée de la pente est peut-être due à la forme du soubassement rocheux.

Glaciers rocheux du Mont Gelé (6 à 9)

Il s'agit de quatre glaciers rocheux, nommés A, B, C, D, d'est en ouest.

A. Ce glacier rocheux est peu épais (nombreux affleurements de roche sous-jacente), formé d'un amas de blocs et de blocailles, principalement de taille métrique, et avec un front peu marqué (pente de 35°) situé entre 2545 et 2590 m. Il est orienté vers le nord-est. Une végétation assez clairsemée apparaît entre les blocs qui sont généralement recouverts de lichens.

B. Il s'agit d'un glacier rocheux épais au front raide ($35-50^\circ$), très éboulé, qui laisse apparaître une matrice fine. Au pied du front, un amas de blocs éboulés témoigne du mouvement actif du glacier rocheux. Les blocs sont en général de taille décimétrique à métrique. La végétation est quasiment absente et les blocs ne sont presque pas recouverts de lichens. Des sources et un névé sont situés au front (2600 m). Ce glacier rocheux, globalement orienté vers le nord/nord-est, est certainement actif.

C. Tout comme le glacier rocheux B, celui-ci, constitué de deux lobes, a un front raide (45°), éboulé par endroits, orienté vers le nord-est. L'amont du glacier rocheux est plutôt orienté vers le nord. Il ne présente pas de couverture végétale. Tout comme le précédent, il est certainement actif.

D. Orienté vers l'est, il s'agit d'un appareil formé de trois lobes bien individualisés, séparés par un sillon. Il est recouvert de plusieurs névés dans la partie amont. Il ne présente pas de végétation, mais les blocs sont couverts de lichens. Il semble actif, comme les précédents.

Glaciers rocheux des Yettes Condja (10-11)

A. Il s'agit d'un grand glacier rocheux en forme de langue, orienté vers le nord-est et situé sur un replat au pied d'un cirque glaciaire. Il est occupé par un névé permanent sur son flanc nord. Le front, qui coïncide avec une brusque rupture de pente du soubassement rocheux à 2670 m (verrou glaciaire), est pentu, avec des éboulis par endroits. En surface, une série de rides longitudinales et arquées vers l'aval, sont visibles. A l'amont, il semble être recouvert en partie par un petit glacier rocheux dont la racine est orientée vers le sud.

B. Un second appareil est situé plus à l'est, également en pied de cirque glaciaire, avec une orientation vers le nord et un front se terminant à 2680 m. Il n'est pas couvert de végétation. Comme ceux du Mont Gelé, ces glaciers rocheux semblent actifs.

Description de la méthode

Cette méthode simple, mise au point par HAEBERLI (1973) consiste à mesurer la température du sol à la base du manteau neigeux (*Basis Temperatur der winterlichen Schneedecke - BTS*) durant la seconde partie de l'hiver, au moment où la couverture neigeuse est suffisamment épaisse (plus de 1 m) pour empêcher les températures de l'air d'influencer les températures du sol. Il suffit alors de mesurer la température du sol pour savoir si celui-ci contient du pergélisol. HAEBERLI a défini que :

- en dessous de -3°C , la présence de pergélisol est probable;
- entre -3°C et -2°C , elle est possible;
- en dessus de -2°C , elle est improbable.

Ces limites sont valables pour une hauteur de neige de 80-100 cm. Il est d'usage de corriger les valeurs obtenues si la couche de neige est plus épaisse (si elle est moins épaisse, la méthode n'est pas utilisable, l'effet isolant de la neige n'étant pas suffisant). La formule de correction donne des valeurs plus froides pour des hauteurs de neige supérieures à 1 mètre. Les valeurs présentées ci-dessous correspondent aux températures corrigées.

Résultats

La méthode BTS a été utilisée dans cinq zones (Fig. 3) :

- à La Tsa, au nord de la piste de Chassoure;
- le long de la piste de Chassoure;
- sur le glacier rocheux des Lués Rares;
- sur les glaciers rocheux du vallon du Mont-Gelé;
- sur les glaciers rocheux du cirque des Yettes Condja.

Elle avait également été utilisée par BRETZ & GIROUD (1993) autour du Mont Gelé. J'ai ajouté leurs mesures touchant au bassin versant de Tortin à celles effectuées par moi-même.

La carte de la figure 3 montre clairement que :

- le glacier rocheux de la Tsa ne contient plus de pergélisol;
- le haut de la Combe de Chassoure présente du pergélisol sur ses pentes orientées au nord;
- le glacier rocheux des Lués Rares contient du pergélisol principalement dans sa partie frontale : il est peut-être inactif;
- les glaciers rocheux du vallon du Mont-Gelé contiennent du pergélisol tout comme ceux du cirque des Yettes Condja;

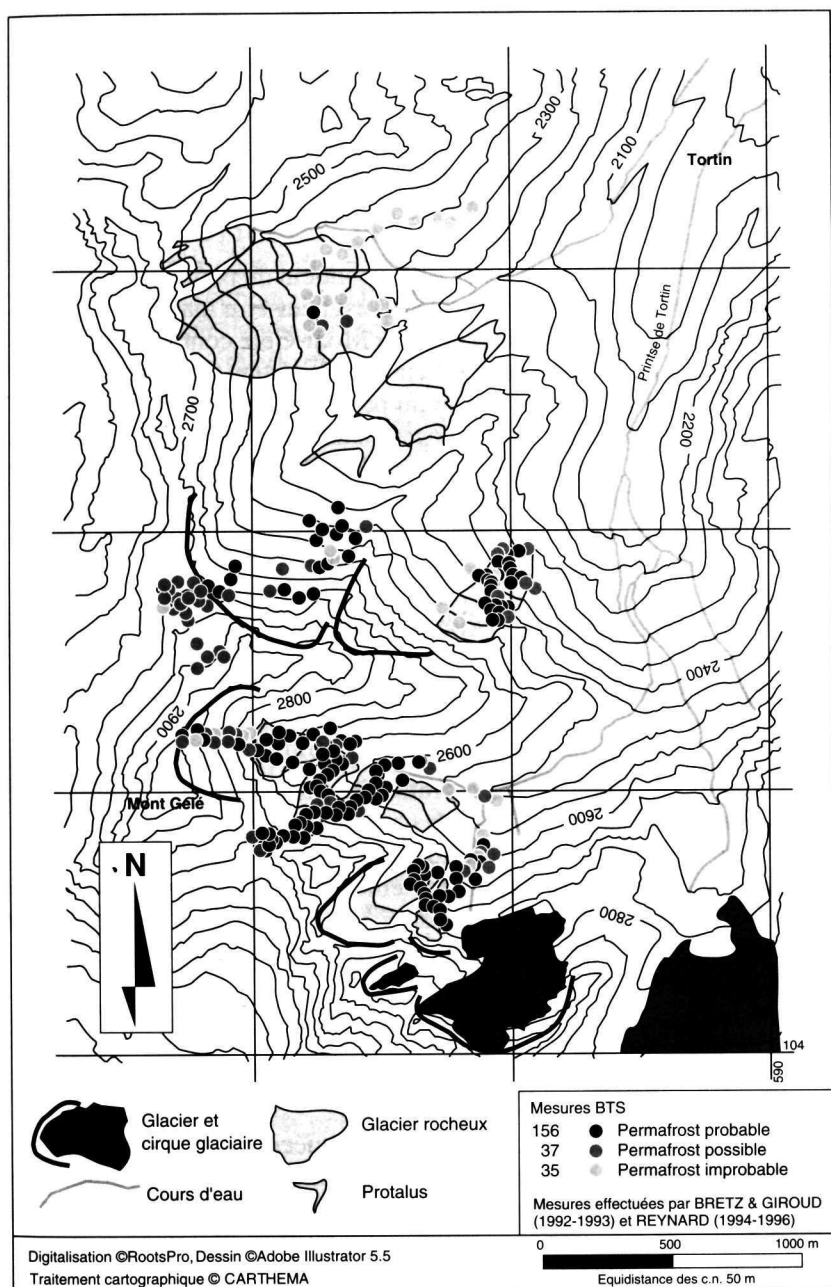


Figure 3. Glaciers rocheux et mesures BTS dans le vallon de Tortin.

Elle avait également été utilisée par BRETZ & GIROUD (1993) autour du Mont Gelé. J'ai ajouté leurs mesures touchant au bassin versant de Tartin à celles effectuées par moi-même.

La carte de la figure 3 montre clairement que :

- le glacier rocheux de la Tsa ne contient plus de pergélisol;
- le haut de la Combe de Chassoure présente du pergélisol sur ses pentes orientées au nord;
- le glacier rocheux des Lués Rares contient du pergélisol principalement dans sa partie frontale : il est peut-être inactif;
- les glaciers rocheux du vallon du Mont-Gelé contiennent du pergélisol tout comme ceux du cirque des Yettes Condja;- dans ces deux vallons, la distribution du pergélisol est discontinue; en effet, les pentes assez exposées à l'amont du glacier rocheux D du Mont-Gelé et la région située à l'aval des glaciers rocheux du Mont-Gelé et des Yettes Condja, en dessous de 2600 m, présentent des valeurs de pergélisol possible et improbable.

MESURES DE TEMPÉRATURE DE SOURCES

Description de la méthode

Les glaciers rocheux ont souvent des sources à leur front. Si l'eau a transité sur le pergélisol, elle s'est refroidie. En mesurant la température des sources, on peut ainsi déduire la présence de pergélisol, ou du moins de lentilles de glace, à l'intérieur du glacier rocheux. Si les températures sont inférieures à 2°C, l'eau a certainement transité au contact de glace (pergélisol probable). En dessus de 2°C, il n'y a plus de pergélisol (HAEBERLI 1975). Les mesures ont été effectuées au moyen de thermomètres digitaux (résolution 1/10 de degrés).

Résultats

Des mesures de température ont été effectuées durant les étés 1995 et 1996 dans les sources et cours d'eau s'écoulant des glaciers rocheux de la région de la Tsa/Chassoure et du vallon du Mont-Gelé. Les résultats complets de ces mesures sont mentionnés ailleurs (REYNARD 1996). Je ne donne ici que les tendances générales.

Les sources situées au front du glacier rocheux de la Tsa indiquent des températures supérieures à 2°C, confirmant les résultats des mesures BTS. Toutes les sources mesurées avaient un débit très faible. Je

conclus de ces diverses remarques que le glacier rocheux est fossile et qu'il n'alimente que très faiblement le Torrent Bé.

Les sources du glacier rocheux des Ouchelets (lieu-dit «Jardin Japonais») indiquent des températures comprises entre 1.2 et 2.7°C, se différenciant nettement des cours d'eau sillonnant le glacier rocheux, qui eux affichent des valeurs supérieures à 3°C. Les mesures effectuées au pied du protalus des Lapires donnent toutes des valeurs comprises entre 1.7 et 2.3°C. Ces résultats confirment les mesures BTS effectuées à l'amont. Du pergélisol discontinu est présent, non seulement dans la combe de Chassoure comme l'indiquent les mesures BTS, mais certainement aussi dans le glacier rocheux situé à l'aval et dans lequel aucune mesure BTS n'a été effectuée.

Au front du glacier rocheux des Lués Rares, une mesure a donné une température de 1.8°C. Les mesures effectuées au pied du glacier rocheux du Mont Gelé B, comprises entre 0.3 et 0.6°C, indiquent la présence probable de pergélisol confirmant les observations géomorphologiques et les mesures BTS.

CONCLUSIONS

La combinaison des observations morphologiques et de deux méthodes indirectes de mise en évidence de la présence de pergélisol (mesures BTS et mesures de température des sources) a permis d'apprécier le degré d'activité des glaciers rocheux étudiés. Tous les appareils situés au dessus de 2600 m sont actifs et contiennent clairement du pergélisol. Le glacier rocheux de la Tsa, qui est orienté vers l'est et dont le front est situé à 2300 m, présente toutes les caractéristiques d'un glacier rocheux fossile. Entre ces deux cotes, une série d'appareils (protalus des Lapires, glaciers rocheux du Plan des Ouchelets et des Lués Rares), orientés au nord et au nord-est, montrent des indices de présence de pergélisol: ils pourraient être inactifs. Cette frange de 300 m de dénivellation est celle qui risque d'évoluer le plus rapidement si le réchauffement du climat observé actuellement (IPCC, 1996) se prolonge.

Nom	Coord.	Alt. inf. [m]	Alt. sup. [m]	Orient	Type	Pente front [°]	Végét.	Lithologie	Taille blocs	Sources BTS T[°C]		Activité
La Tsa	588300/106800	2300	2700	E	Versant	34	Oui	Prasinites	dm/m	1.9-4.3	Improb.	Fossile
Plan des Ouchelets	588700/106750	2230	2360	NE	Langue	30-40	Oui	Gneiss	dm/m	1.2-2.7	—	Inactif?
Arête de Darbenet	588700/106350	2320	2400	N	Versant	—	Oui	Gneiss	—	Non	—	Actif?
Les Lapires	588400/106300	2360	2420	NE	Protalus	—	Non	Gneiss	dm/m	1.7-2.3	Probable	Actif?
Lués Rares	588900/105750	2300	2560	NE	Versant	45	Eparse	Prasinites Micaschistes	dm/dam	1.8	Prob./Poss.	Actif?
Mont Gelé A	588650/104950	2545	2670	NE	Versant	Env. 35	Eparse	Schistes Prasinites	m	Non	—	Actifs?
Mont Gelé B	588450/105100	2600	2800	NE	Versant	35-50	Non	Chistes Prasinites	dm/m	0.3-0.6	Probable	Actif
Mont Gelé C	588300/105100	2620	2800	NE	Versant	45	Non	Schistes Prasinites		Non	Probable	Actif
Mont Gelé D	588200/105200	2670	2770	E	Versant	—	Lichens	Schistes Prasinites			Probable	Actif
Yette Condja A	588650/104650	2670	2820	NE	Langue	—	Non	Schistes chloriteux			Probable	Actif
Yette Condja B	588700/104600	2680	2790	N	Versant	—	Non	Schistes chloriteux			Probable	Actif

Tableau 2. Caractéristiques des glaciers rocheux du vallon de Tortin.

PERSPECTIVES

Cette étude offre des perspectives dans trois directions. Le site de Tortin ayant été proposé comme localité-type des stades tardiglaciaires Egesen et Daun pour les Alpes occidentales suisses (MÜLLER et al. 1983), la combinaison des données issues de la recherche glaciaire (reconstitution des stades glaciaires) et de nos résultats permettra, sur la base de méthodes mises au point dans les Alpes orientales (KERSCHNER 1985) de reconstituer les conditions climatiques au Tardiglaciaire dans cette partie des Alpes (variations des températures et des précipitations par rapport à la période actuelle). Les résultats présentés ici sont de nature assez ponctuelle; une régionalisation informatique de la distribution du permafrost dans toute la zone est en cours (WENKER 1997). Elle permettra des comparaisons avec un secteur morphologiquement et climatiquement différent: le massif des Diablerets (PHILLIPS & REYNARD 1996) et avec d'autres programmes de régionalisation informatiques (SCHWEIZER 1994, HAEBERLI et al. 1996). En automne 1996, des mini-sondes mesurant les températures du sol chaque heure ont été posées sur cinq sites des vallons de Chassoure et du Mont-Gelé. Elles permettront d'apprécier l'évolution des températures du pergélisol pendant une année et les relations entre les paramètres climatiques (températures de l'air, épaisseur du manteau neigeux) et ces variations.

Remerciements

J'ai intégré dans cette étude certaines mesures effectuées par Marianne Giroud et Nathalie Bretz dans le secteur du Mont-Gelé. Markus Imhof (Berne) a traduit le résumé en allemand et Laurent Wenker (Lausanne) a relu attentivement le manuscrit. L'étude a bénéficié du soutien logistique et financier de Télévrier et Télénendaz. Je remercie toutes ces personnes et sociétés pour leur contribution.

Bibliographie

- BARSCHE, D. 1988. Rock glaciers. In: *Advances in Periglacial Geomorphology*. Chichester, Wiley, 415-462.
- BRETZ, N. et M. GIROUD. 1993. *Répartition théorique du permafrost au Mont-Gelé*. Lausanne, Institut de Géographie, Rapport de géographie quantitative (non publié).
- ESCHER, A. 1988. *Structure de la nappe du Grand Saint-Bernard entre le val de Bagnes et les Mischabel*. Berne, Service hydrologique et géologique national, Rapports géologiques N° 7.
- GARDAZ, J.M., R. LUGON et M. MONBARON. 1995. Prospection du pergélisol de montagne à l'aide de la méthode BTS (Alpes Valaisannes, Suisse). *Cahiers UKPIK* 10, 93-105.

- GUODONG, C. et F. DRAMIS. 1992. Distribution of mountain permafrost and climate. *Permafrost and Periglacial Processes* 3, 83-91.
- HAEBERLI, W. 1973. Die Basis-Temperatur der winterlichen Schneedecke als möglicher Indikator für die Verbreitung von Permafrost in den Alpen. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 9/1-2, 221-227.
- 1975. Untersuchungen zur Verbreitung von Permafrost zwischen Flüelapass und Piz Grialettsch (Graubünden), *Mitteil. der VAW-ETH Zürich*, Nr. 17.
- 1985. Creep of mountain permafrost: internal structure and flow of alpine rock glaciers, *Mitteil. der VAW-ETH Zürich*, Nr. 77.
- 1992. Construction, environmental problems and natural hazards in periglacial mountain belts, *Permafrost and Periglacial Processes* 3, 111-124.
- et al. 1996. *Simulation der Permafrostverbreitung in den Alpen mit geographischen Informationssystemen*. Arbeitsbericht NFP 31, VDF Hochschulverlag an der ETH Zürich.
- HARRIS, S.A. 1986. *The permafrost environment*. London/Sydney, Croom Helm.
- HOELZLE, M. 1994. Permafrost und Gletscher im Oberengadin. Grundlagen und Anwendungsbeispiele für automatisierte Schätzverfahren, *Mitteil. der VAW-ETH Zürich*, Nr. 132.
- IPCC. 1996. *Climate Change : the IPCC Second Assessment Report*, Cambridge, Cambridge University Press.
- KERSCHNER, H. 1985. Quantitative palaeoclimatic inferences from lateglacial snowline, timberline and rock glacier data, Tyrolean Alps, Austria. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 21, 363-369.
- KING, L. et J. AKERMAN. 1993. Mountain permafrost in Europe. *Permafrost Sixth International Conference, Beijing, Proceedings*, vol. 2, 1022-1027.
- MÜLLER, H.N., H. KERSCHNER et M. KÜTTEL. 1980. Gletscher- und Vegetationsgeschichtliche Untersuchungen im Val de Nendaz (Wallis). Ein Beitrag zur alpinen Spätglazialchronologie. *Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie* 16, 61-84.
- 1983. The Val de Nendaz (Valais, Switzerland). A type locality for the Egesen advance and the Daun advance in the Western Alps. In: *Late- and postglacial oscillations of glaciers : glacial and periglacial forms*. Rotterdam, Balkema, 73-82.
- PHILLIPS, M. 1993. *Géomorphologie du Vallon de Nant*. Université de Lausanne, Institut de Géographie, Mémoire de licence non publié.
- PHILLIPS, M. et E. REYNARD. 1996. Influence régionale du climat et de la morphologie sur la distribution du permafrost : l'exemple des Hautes Alpes Calcaires. *Rapport de recherches UKPIK* 8, 197-206.
- PITTELOUD, E. et C. GERBER. 1988. *Etude géologique et minéralogique des nappes de Siviez-Mischabel et du Mont Fort dans le Val de Nendaz (Valais)*. Université de Lausanne, Diplôme de géologie et minéralogie non publié.
- REYNARD, E. 1996. *Recherches géomorphologiques dans le Vallon de Tortin*. Lausanne, Institut de Géographie, Rapport de travail (non publié), 14 p.
- SCHAER, J.P. 1960. *Géologie de la partie septentrionale de l'éventail de Bagnes (entre le Val d'Hérémence et le Val de Bagnes, Valais, Suisse)*. Université de Neuchâtel, Faculté des Sciences, Thèse.
- SCHOENEICH, P. 1993. Comparaison des systèmes de légendes français, allemand et suisse - principes de la légende IGUL. In: *Cartographie géomorphologique - Cartographie des risques*, Institut de Géographie de Lausanne, Travaux et recherches 9, 15-24.
- SCHWEIZER, A. 1994. *Etude d'un site périglaciaire alpin et de ses relations avec les infrastructures touristiques de haute montagne : région du Lac des Vaux et du Mont*

- Gelé (Nendaz-Riddes-Verbier)*. Fribourg, Institut de Géographie, Travail de diplôme non publié.
- WASHBURN, A.L. 1979. *Geocryology. A survey of periglacial processes and environments*. London, Arnold.
- WENKER, L. 1997. *Prédiction de la répartition spatiale du permafrost dans les Alpes suisses du sud-ouest. Comparaison entre les Diablerets (Vaud) et le Mont Gelé (Valais)*. Université de Lausanne, Institut de Géographie, Mémoire de licence (non publié).
- WINISTÖRFER, J. 1978. *Paléogéographie des stades glaciaires des vallées de la rive gauche du Rhône entre Viège et Aproz*, Université de Lausanne, Faculté des Lettres, Thèse, Tiré à part du Bull. de la Murithienne 94.

